

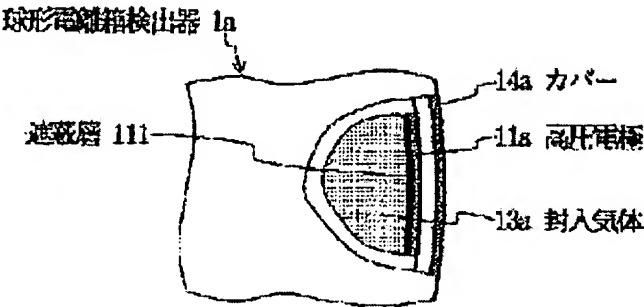
ION CHAMBER DETECTOR

Publication number: JP2001166059  
Publication date: 2001-06-22  
Inventor: MONNO ASAO; MASUI KAORU  
Applicant: FUJI ELECTRIC CO LTD  
Classification:  
- International: G01T1/185; G01T1/14; G01T1/00; G01T1/02; (IPC1-7): G01T1/185  
- European:  
Application number: JP19990354656 19991214  
Priority number(s): JP19990354656 19991214

Report a data error here

Abstract of JP2001166059

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an ion chamber detector having excellent energy characteristic up to a low energy region.  
SOLUTION: An outer electrode (high voltage electrode in the drawing) 11a and a cover 14a are made of aluminum, nitrogen gas in which a small amount of argon gas is mixed is used as sealing gas 13a, and a shielding layer 111 shielding  $\alpha$  ray is formed on an inner face of the outer electrode 11a. The concentration of argon gas is adjusted by total thickness of the outer electrode 11a and the cover 14a and a material and a thickness of the shielding layer 111. The shielding layer 111 is formed to suppress an increase of a background value by a self pollution ray amount of  $\alpha$  ray radiated from natural radioactive nuclide that the aluminum of the outer electrode 11a contains.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-166059

(P2001-166059A)

(43) 公開日 平成13年6月22日 (2001.6.22)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

G 0 1 T 1/185  
1/14G 0 1 T 1/185  
1/14

A 2 G 0 8 8

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平11-354656

(22) 出願日

平成11年12月14日 (1999. 12. 14)

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72) 発明者 門野 浅雄

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 増井 肇

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(74) 代理人 100088339

弁理士 篠部 正治

Fターム(参考) 2G088 E009 FF02 FF04 GG01 JJ01

JJ08 JJ09 JJ29 JJ30 JJ31

LL02 LL06 LL15

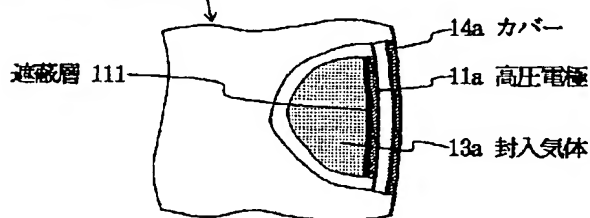
## (54) 【発明の名称】 電離箱検出器

## (57) 【要約】

【課題】低エネルギー領域まで優れたエネルギー特性を有する電離箱検出器を提供する。

【解決手段】外側電極（図では高圧電極）11a 及びカバー14a をアルミで製作し、封入気体13a に少量のアルゴンガスを混合した窒素ガスを用い、外側電極11a の内面に $\alpha$ 線を遮蔽する遮蔽層111 を形成する。外側電極11a 及びカバー14a の合計厚さと遮蔽層111 の材質及び厚さによって、アルゴンガスの濃度が調整される。遮蔽層111 は、外側電極11a のアルミ中に含まれる自然放射性核種から放射される $\alpha$ 線による自己汚染線量によるバックグラウンド値の増大を抑制するために形成される。

球形電離箱検出器 1a



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】中心部にある中央電極と、中央電極の外側を囲む外側電極と、外側電極の外側を覆うカバーとが、それらの下部において相互に電氣的に絶縁されて保持部材に保持され、外側電極と保持部材とで密閉容器が形成され、その密閉容器内には加圧されたガスが封入されている電離箱検出器において、

外側電極及びカバーがアルミからなり、

外側電極の内面に、外側電極に含まれる天然放射性核種から放射される $\alpha$ 線を遮蔽するための遮蔽層が形成されており、

加圧封入ガスが、窒素ガスより分子量の大きい不活性ガスを含む窒素ガスであることを特徴とする電離箱検出器。

【請求項2】外側電極の厚さ及びカバーの厚さの合計厚さが2mm～10mmであり、

不活性ガスがアルゴンガスであり、且つその濃度が2.5モル%～6.5モル%であることを特徴とする請求項1に記載の電離箱検出器。

【請求項3】前記遮蔽層が外側電極上に形成された金属層であり、

その金属層の密度を $\rho$  g/cm<sup>3</sup> とし、その厚さを $t$   $\mu$ m とした場合に、 $\rho \geq 5.5$  で、 $80 \leq \rho t \leq 900$  であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の電離箱検出器。

【請求項4】前記金属層が銅層とニッケル層とからなる厚さ9  $\mu$ m ～100  $\mu$ m のメッキ層であることを特徴とする請求項3に記載の電離箱検出器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は $\gamma$ 線及びX線を検出する電離箱検出器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】電離箱検出器は、その方向特性を良くするために、その形状を球形に形成されることが多く、 $\gamma$ 線及びX線（以下では $\gamma$ 線で代表する）を検出する。以下においては球形の電離箱検出器で説明するが、電離箱検出器は球形のものに限定されるものではない。

【0003】図3は、このような球形電離箱検出器（以下では検出器と略称する）1の外観及び電極構成を示す部分断面正面図である。検出器1の中心部には、球形でステンレス鋼製の集電極12が図示されていない電極保持部材に保持されており、信号電流を取り出すための図示されていないリード線を介してアンプに接続されている。この集電極12の外側には、集電極12の中心と同じ中心をもつ球形でステンレス鋼製の高圧電極11が、集電極12とは電氣的に絶縁されて配置され、図示されていない高圧電源に接続されている。この高圧電極11の外側には、集電極12の中心と同じ中心をもつ球形でステンレス鋼製のカバー14が配置されている。

【0004】高圧電極11とその下部の保持部材等によって密閉容器が形成されており、この密閉容器内には封入気体13として加圧されたアルゴンガスが封入されている。この封入アルゴンガス中に $\gamma$ 線が入射すると、この $\gamma$ 線とアルゴンガスとが相互作用してアルゴンガスが電離され、高圧電極11と集電極12との間に印加されている電界によって、電離されたアルゴンガスはアルゴンイオンと電子とに分離され、その結果として集電極12に電流信号が流れ、入射 $\gamma$ 線が検出される。

【0005】従来技術の検出器1において、高圧電極11の厚さが2mm、カバー14の厚さが2mmで、封入アルゴンガスの圧力が0.91MPaである場合の $\gamma$ 線エネルギーに対する相対感度（以下ではエネルギー特性という）は、図4に示す通りである。横軸には $\gamma$ 線のエネルギーが示され、縦軸には<sup>137</sup>Csの662 keVの $\gamma$ 線に対する感度を基準とする相対感度が示されている。高エネルギー領域から漸減してきた相対感度値が1,000 keV前後で底値となり、よりエネルギーの小さい領域では増加し、125 keVでピーク値を示し、それ以下のエネルギーでは急激に減少している。このような相対感度に対して、従来の検出器1の相対感度の許容幅は、細い実線で示した領域であり、従来技術の検出器1のエネルギー特性はそれを満足していた。しかし、顧客の要求がより厳しくなり、図4において点線で示したような $\pm 15\%$ を許容幅とし、それを満足する最低エネルギーを80 keV、60 keV、50 keVと低エネルギー側に広げられてきている。従来の検出器1ではこのような厳しい特性仕様を満足させることは困難である。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】この発明の課題は、上記のような厳しい特性仕様を満たす優れたエネルギー特性をもつ電離箱検出器を提供することである。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】この発明の発明者は、従来技術の問題点を解決するために、まず、カバー14の材質をステンレス鋼から密度の小さいアルミに変更し、且つ外側電極（図3における高圧電極に相当し、図においては高圧電極と記述）11の厚さを2mmから1.5mm にして、エネルギー特性を測定した。その測定結果が図5に○で示されている。カバーなしでもエネルギー特性を測定し、その結果は◇で示されている。これらの結果を図4と比較すると、ピーク位置が低エネルギー側へ移動し、ピーク値が高くなっている。なお、カバーの有無の差は小さく、3mm厚程度のアルミでは低エネルギー側の相対感度が僅かに下方に移動するだけであり、その影響は小さいことが分かる。

【0008】ここで、図3における高圧電極11を外側電極11と表現したのは、外側電極が常に高圧電極になるとは限らないからである。次に、アルゴンガスを窒素ガスに置き換えてエネルギー特性を測定した。この場合の封

入ガス圧は従来例と同じの0.91MPaである。その測定結果が図5の□及び△に示されている。□は3mm厚のアルミ製カバーがある場合であり、△はカバーのない場合である。両方の場合において、相対感度はピークをもたず、200 keV以下で単調に減少する。更に、窒素ガスの場合もアルゴンガスの場合と同様に、カバーの有無の差は小さく、3mm厚程度のアルミでは低エネルギー側の相対感度が僅かに下方に移動するだけであり、その影響は小さい。

【0009】以上の結果から、外側電極及びカバーの材料をステンレス鋼からアルミに変更すれば、低エネルギー側まで高い感度を確保することができ、且つ、封入ガスをアルゴンガスから、窒素ガスを主成分として、窒素ガスより低エネルギー側の感度が高いガス、例えばアルゴンガス、を少量混合した混合ガスに変更すれば、低エネルギー側でのピークを下げることができ、両者の効果によって課題を達成できる可能性があることを見出した。

【0010】図6はその可能性の検討結果を示すエネルギー特性線図である。この場合の外側電極及びカバーには共に3mm厚のアルミを用いた。図において、◇はアルゴンガスを封入した場合、○は窒素ガスを封入した場合、□は窒素ガスとアルゴンガスを1:1で混合した混合ガスを封入した場合を示している。アルゴンガスの場合及び混合ガスの場合には、低エネルギー側で急激に相対感度が増加しているが、窒素ガスが混合されている方がピークの高さが低くなっている。窒素ガスだけの場合には、低エネルギー側で単調に減少しているが、80 keVまでは±15%以内を満足している。これは、カバーだけではなく外側電極もアルミ製に変更したことによる効果である。

【0011】ここで、混合ガスの最適構成比を把握するために、図6と同じ構成、すなわち、外側電極及びカバーにそれぞれ3mm厚のアルミを使用した場合において、アルゴンガスの濃度を变化させて、エネルギー特性を測定した。図7は、その測定結果の一部で、混合ガス中のアルゴンガスの濃度を2~4モル%の範囲で变化させた場合のエネルギー特性線図である。図において、○はアルゴンガス濃度が2モル%、◇は3モル%、□は4モル%の場合に相当する。アルゴンガス濃度が2モル%の場合においては55 keVまでは±15%以内を満足しており、4モル%の場合においては、75 keV近傍で上限値である+15%近くまで増加するが、50 keVより小さいエネルギーになって下限値である-15%を割り込む。

【0012】図8は、図6の場合と同じ構成において、アルゴンガス濃度をパラメータとしてシミュレーション計算により算出したエネルギー特性線図であり、図7に示した実測結果と非常によく一致している。アルゴンガス濃度が0モル%の場合には、80 keVよりやや小さいエネルギーで下限値を割り込んでおり、アルゴンガス濃度

が6モル%の場合には、100 keV以下の領域で上限値を越えている。この結果から、60 keVまで許容幅を満足させるためには、アルゴンガス濃度を2~4モル%とすることが必要であり、50 keVまで許容幅を満足させるためには、3.5~4モル%にする必要があることが分かる。

【0013】なお、この検討においては、窒素ガスに少量のアルゴンガスを混合したが、クリプトンガスやキセノンガスも同様に有効であると考えられる。次に、アルゴンガス濃度を3モル%に固定し、アルミ製の高圧電極及びアルミ製のカバーの合計厚さを変えた場合のエネルギー特性をシミュレーション計算により算出した。図9はその計算結果を示すエネルギー特性線図である。図9において、○はアルミの合計厚さが3mmの場合、◇は4mmの場合、□は6mmの場合、△は8mmの場合を示している。

【0014】アルミの合計厚さが厚くなると、エネルギー特性の低エネルギー側の相対感度が低下し、アルミの合計厚さが薄い場合には、逆に、エネルギー特性の低エネルギー側の相対感度が上昇してくる。図8のエネルギー特性と比較すると、アルミの合計厚さを3mm増加させることが、アルゴンガスの濃度をほぼ1モル%減少させることに相当していることが分かる。したがって、アルミの合計厚さを厚くする場合には、アルゴンガス濃度をそれに見合う分だけ増大させることが必要であり、アルミの合計厚さを薄くする場合には、アルゴンガス濃度をそれに見合う分だけ低減させることが必要である。

【0015】図7においては、アルミの合計厚さが6mmであり、それに見合うアルゴンガス濃度が2~4モル%であった。これに対して、アルミの合計厚さが必要最少値である2mmの場合には、アルゴンガス濃度は0.5~2.5モル%であることが適当であり、アルミの合計厚さが10mmの場合には、アルゴンガス濃度は3.5~5.5モル%であることが適当である。

【0016】なお、アルミの合計厚さを10mm以上にする場合にも、同様の考え方は有効であると考えられる。例えば、アルミの合計厚さが実用上厚過ぎると考えられる15mmの場合においては、アルゴンガス濃度を6モル%前後にすればよい。以上の説明から明らかなように、外側電極及びカバーをアルミ製とし、封入ガスとして所定濃度のアルゴンガスを含む窒素ガスを使用すれば、エネルギー特性に対する厳しい要求を満足させることができる検出器を製造することができる。しかし、外側電極及びカバーをアルミ製に変更した検出器のバックグラウンド値が、表1に示すように、従来のステンレス鋼製の場合に比べて増大することが判明し、バックグラウンド値の低減対策が必要となってきた。

【0017】表1において、SUS製は従来の検出器を示し、アルミ製は外側電極及びカバーにそれぞれ3mm厚のアルミを使用し、3モル%のアルゴンガスを含む窒素ガスを封入した検出器を示し、差分はアルミ製に変更す

ることで増加したバックグラウンド値を示している。

〔表1〕 バックグラウンド値 (nGy/h)

	SUS製	アルミ製	差分
鉄室内	24.4	43.9	19.5
下部に鉛5cm	54.1	75.8	21.7
一般作業場室内	72.1	91.2	19.1
屋外	89.9	109.3	19.4
		平均	19.9

このバックグラウンド値の増加分は、表1に示したように、環境条件の大きく異なる4種類の状況においてほぼ同等に発生している、と判断することができる。したがって、この増加分は、外側電極をアルミ製に変更したことに伴う自己汚染線量の増加であろう、と推定される。この検出器が使用される場合における最少の測定値は10 nGy/h程度であるから、バックグラウンド値が約20 nGy/hも増加することは避けるべきことであり、バックグラウンド値の増加分の低減が課題となる。

【0018】なお、外側電極及びカバーに使用したアルミの材質は、加工性及び強度を配慮して、耐食アルミとした。耐食アルミには、0.25%のSi、0.4%のFe、0.1%のCu、0.1%のMn、2.2～2.8%のMg、0.15～0.35%のCr、0.1%のZnが含まれている。自己汚染線量は、検出器の構成材料中に含まれている天然放射性核種から放射された放射線が集電極と外側電極との間の空間に到達して封入気体を電離させることによって発生する線量である。

【0019】天然放射性核種からの放射線が $\alpha$ 線の場合には、そのエネルギーが4 MeV～9 MeVの範囲にあり、最大値である8.8 MeVとしても、封入気体中の飛程が10 mm以下と短く、構成材料から検出器の内部の封入気体中に到達した $\alpha$ 線は、その全てのエネルギーを封入気体を電離させるのに消費する。したがって、封入気体中に到達した $\alpha$ 線は全て自己汚染線量に関与する。ただし、 $\alpha$ 線は構成材料中の飛程も短いので、構成材料の全体が自己汚染線量に関与するのではなく、封入気体に接触している面から厚さ40  $\mu$ m 弱（アルミの場合）の領域の材料だけが自己汚染線量に関与し、この領域に含まれている天然放射性核種が問題となる。この領域より外側の部分は、その内側の材料が $\alpha$ 線の遮蔽層となるので、自己汚染線量には関与しない。ステンレス鋼等のアルミより密度の大きな材料の場合には、この領域の厚さは、その密度に反比例して小さくなる。

【0020】一方、放射線が $\beta$ 線の場合には、そのエネ

ルギーが10 keV台から3 MeV程度までに分布し、そのエネルギーによって飛程も大きく異なるので、自己汚染線量に対する関与の仕方を簡単に推定することは難しい。概略的に考察すると以下の通りである。エネルギーが約100 keVの $\beta$ 線は、上記の $\alpha$ 線とほぼ同等の飛程をもっている。したがって、そのエネルギーレベルが $\alpha$ 線の数10分の1であることから判断して、100 keV以下のエネルギーの $\beta$ 線は、殆ど自己汚染線量に関与しないと判断できる。

【0021】しかし、エネルギーが約1 MeVの $\beta$ 線は、封入気体中の飛程が約300 mmであって、外側電極の内径と同等であり、アルミ中の飛程も同様に大きくなって外側電極の厚さと同等になる。そのため、外側電極全体に含まれる天然放射性核種が自己汚染線量に関与し、そのエネルギーも大きく、且つエネルギーの大部分が検出器の信号電流となる可能性をもっているため、エネルギーが1 MeV近傍の $\beta$ 線を無視することはできないと推定される。

【0022】更にエネルギーが大きい $\beta$ 線は、封入気体中の飛程が外側電極の内径より大きくなり、封入ガス中で消費するエネルギーの割合が減少し、自己汚染線量に関与する天然放射性核種の数に材料の厚さで制限される。したがって、この場合も、自己汚染線量に対する関与が1 MeV近傍の $\beta$ 線に比べて少なくなると推定される。

【0023】 $\gamma$ 線は封入気体との相互作用の確率が低いので、自己汚染線量には殆ど関与しないと考えられる。上述したように、耐食アルミ製の外側電極及びカバーに変更したことによるバックグラウンド値の増加分は、外側電極及びカバーを、厚さ2 mmのステンレス鋼から厚さ3 mmの耐食アルミに変えたことによる自己汚染線量の増加に起因すると考えねばならない。

【0024】耐食アルミへの変更に伴う自己汚染線量の増加の要因として想定できるものは以下の通りである。

1) 耐食アルミはステンレス鋼に比べて密度が小さいので、 $\alpha$ 線及び $\beta$ 線の飛程が長く、検出器内部の封入気体に到達する放射線の源となる領域の厚さが厚く、その結果として自己汚染に関与する天然放射性核種の数が多くなっている。

【0025】2) 耐食アルミに含まれる天然放射性核種の含有率が高い。のいずれか、あるいは両方であると考えられる。上記の説明から明らかなように、自己汚染線量は主に $\alpha$ 線成分及び $\beta$ 線成分であると考えられるから、外側電極の内面に $\alpha$ 線を遮蔽する遮蔽層を形成することによって、バックグラウンド値の増加分をある程度は低減することができると考えられる。遮蔽層としては、天然放射性核種の含有率の低い材料、あるいは天然放射性核種の含有率が同程度であれば密度の高い材料が有効である。天然放射性核種から放射される $\alpha$ 線のエネルギーは最大8.8 MeVであるから、このエネルギーに相

当する飛程並みの厚さの遮蔽層を形成すれば、外側電極から検出器の内部に向けて放射される $\alpha$ 線を遮蔽することができる。

【0026】上記の考え方に基づいて、 $\alpha$ 線の遮蔽層をもつ検出器を試作し、その効果を検討した。天然放射性核種の含有率の低い材料が不明であるので、ここでは、 $\alpha$ 線成分の遮蔽層として、厚さ $5\mu\text{m}$ の銅メッキ層の上に酸化防止膜を兼ねた厚さ $5\mu\text{m}$ のニッケルメッキ層の積層メッキ層を採用し、外側電極の内面にその積層メッキ層を形成した。表2はこの検出器と従来の検出器とで測定したバックグラウンド値であり、その測定環境は表1とほぼ同じ環境である。

【0027】

〔表2〕 バックグラウンド値 (nGy/h)

	SUS製	アルミ製	差分
鉄室内	22.7	26.9	4.2
下部に鉛5cm	46.5	53.2	6.7
一般作業場室内	67.9	75.6	7.7
保管庫前	93.8	100.1	6.3
		平均	6.2

表2から分かるように、上記の $\alpha$ 線の遮蔽層によって、

バックグラウンド値の増加分を $1/3$ 以下に低減させることができた。ステンレス製の外側電極の場合に比べれば、バックグラウンド値がまだ幾分大きいですが、耐食アルミ製に変更してエネルギー特性を大幅に改善したことを考え合わせると、十分に有効な手段であると言えることができる。

【0028】なお、差分の平均値 $6.2\text{ nGy/h}$ は、自己汚染線量の $\beta$ 線成分が上記の遮蔽層では十分に除去できないことによるものと推定されるが、遮蔽層自体の自己汚染分も当然含まれているであろう。上記の検討結果を踏まえて、外側電極及びカバーにそれぞれ $3\text{mm}$ 厚のアルミを使用し、且つアルゴンガスを含む窒素ガス（封入圧は $0.91\text{MPa}$ ）を封入した検出器におけるエネルギー特性を、遮蔽層としてのCu層の厚さとアルゴンガス濃度とをパラメータとして、シミュレーション計算した。図10及び表3はその計算結果である。図10はエネルギー特性の一例であり、アルゴンガス濃度が4モル%で、Cu層の厚さが0、10、50、100、200 $\mu\text{m}$ の場合である。表3は、計算結果をまとめたものであり、エネルギー特性が $50\text{keV}$ まで $\pm 15\%$ 以内に入るものを“○”で示し、 $60\text{keV}$ まで $\pm 15\%$ 以内に入るものを“△”で示し、 $60\text{keV}$ より大きいエネルギーでないと $\pm 15\%$ 以内に入らないものを“×”で示した。

【0029】

〔表3〕

Cu層の厚さ		アルゴンガス濃度 (モル%)										
( $\mu\text{m}$ )		1	2	3	3.5	4	5	5.5	6	7	10	20
0		△	△	△	○	○	×	×	×	×	×	×
10		×	△	△	○	○	×	×	×	×	×	×
20		×	△	△	○	○	×	×	×	×	×	×
40		×	△	△	△	○	×	×	×	×	×	×
60		×	△	△	△	△	○	×	×	×	×	×
80		×	×	△	△	△	○	○	×	×	×	×
100		×	×	△	△	△	△	△	×	×	×	×
120		×	×	△	△	△	△	△	△	×	×	×
140		×	×	×	△	△	△	△	△	×	×	×
160		×	×	×	△	△	△	△	△	×	×	×
180		×	×	×	△	△	△	△	△	△	×	×
200		×	×	×	×	△	△	△	△	△	×	×
220		×	×	×	×	×	△	△	△	△	×	×
240		×	×	×	×	×	△	△	△	△	×	×
260		×	×	×	×	×	×	△	△	△	×	×
280		×	×	×	×	×	×	△	△	△	×	×
300		×	×	×	×	×	×	△	△	△	△	×
320		×	×	×	×	×	×	×	×	△	△	×
380		×	×	×	×	×	×	×	×	△	△	×
400		×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×
500		×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×
520		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
860		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
880		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△
900		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△
920		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

○: 50 keVまで±15%以内、△: 60 keVまで±15%以内、×: その他

表3によれば、エネルギー特性が50 keVまで±15%以内に入る条件(○印の付いている条件)は、アルゴンガス濃度が3.5 モル%~5.5 モル%の範囲であり、Cu層の厚さが0~80  $\mu\text{m}$  の範囲である。アルミの厚さ等を変えることによって、これらの範囲は移動すると考えられるので、エネルギー特性が50 keVまで±15%以内に入るのは、アルゴンガス濃度が2.5 モル%~6.5 モル%の範囲であり、Cu層の厚さが0~100  $\mu\text{m}$  の範囲であるとしてもよいであろう。

【0030】なお、Cu層が遮蔽層としての機能を果たすためには、その厚さの最小値は6 MeVの $\alpha$ 線の飛程に相当する9  $\mu\text{m}$  であることが必要である。この厚さであれば、 $\alpha$ 線のエネルギーを90%以上遮蔽することができ、遮蔽層としては十分有効である。表3から明らかなように、エネルギー特性が60 keVまで±15%以内に入る条件(△印の付いている条件)は、アルゴンガス濃度の範囲及びCu層の厚さの範囲ともに大幅に広がり、Cu層の厚さが数100  $\mu\text{m}$  という厚いものも使用可能となる。このように厚い遮蔽層が使用できれば、 $\alpha$ 線だけではなく $\beta$ 線を遮蔽する効果も期待することができる。

【0031】以上の検討結果によって、以下の解決手段に到達したのである。この発明においては、中心部にある中央電極と、中央電極の外側を囲む外側電極と、外側電極の外側を覆うカバーとが、それらの下部において相互に電氣的に絶縁されて保持部材に保持され、外側電極と保持部材とで密閉容器が形成され、その密閉容器内に

は加圧されたガスが封入されている電離箱検出器において、外側電極及びカバーがアルミからなり、外側電極の内面に、外側電極に含まれる天然放射性核種から放射される $\alpha$ 線を遮蔽する遮蔽層が形成されており、加圧封入ガスが、窒素ガスより分子量の大きい不活性ガスを含む窒素ガスである(請求項1の発明)。

【0032】窒素ガスを主成分とすることによって、100 keV前後における感度の大幅な増大がなくなり、窒素ガスより分子量の大きい不活性ガスを混合することによって低エネルギー側での感度が確保され、更に、外側電極及びカバーの材質をアルミに変えることによって80 keV以下のエネルギー領域においても必要な感度が確保される。更に、外側電極の内面に $\alpha$ 線の遮蔽層を形成することによって、自己汚染によるバックグラウンド値の増大を抑制することができる。

【0033】請求項1の発明において、外側電極の厚さ及びカバーの厚さの合計厚さが2 mm~10 mmであり、不活性ガスがアルゴンガスであり、且つその濃度が2.5 モル%~6.5 モル%である(請求項2の発明)。外側電極は、その内部に封入されるガスの内圧に耐えるために最少でも1.5 mm程度の厚さが必要であり、カバーも機械的強度の点から最少でも0.5 mm程度の厚さが必要である。一方、アルミの合計厚さが10 mmを越えると、機械的な強度を確保するという観点から不必要に分厚いものとなり、電離箱検出器の形状が大きくなり、コストも増大する。また、アルゴンガスのモル濃度が0%であっても、

80keV まで±15%以内のエネルギー特性を満足させることはできるが、アルミの合計厚さと遮蔽層の材質及び厚さに対応させてアルゴンガスの濃度を2.5 モル%~6.5 モル%に調整することによって、50keV まで±15%以内のエネルギー特性を満足させることができるようになる。アルミの合計厚さの3mmとアルゴンガスの濃度の1モル%とがほぼ対応し、アルミの合計厚さが増加する場合には、アルゴンガスのモル濃度も増加させればよい。

【0034】請求項1の発明または請求項2の発明において、前記遮蔽層が外側電極上に積層された金属層であり、その金属層の密度を $\rho$  g/cm<sup>3</sup> とし、その厚さを $t$   $\mu$ mとした場合に、 $\rho \geq 5.5$  で、 $80 \leq \rho t \leq 900$  である（請求項3の発明）。表3に示したシミュレーション計算結果によれば、50keV まで±15%以内のエネルギー特性をもっているのは、Cu層の厚さが0  $\mu$ m ~80  $\mu$ m の範囲であり、100  $\mu$ m は僅かに外れている。遮蔽層がエネルギー特性に影響するのは、遮蔽層の単位面積当たりの質量であるので、表3の結果を単位面積当たりの質量に置き換え、遮蔽層としての機能を確保する最低厚さを配慮し、境界部分を取り込むと、50keV まで±15%以内のエネルギー特性を満足するのは、 $80 \leq \rho t \leq 900$  となる。なお、 $\rho \geq 5.5$  としているのは、アルミの2倍以上の密度をもつ金属を遮蔽層の材料として選択することによって、遮蔽層中の $\alpha$ 線の飛程がアルミの1/2以下となり、その結果として、遮蔽層自体の自己汚染線量が少なく抑えられることを意図している。

【0035】請求項3の発明において、前記遮蔽層が銅層とニッケル層とからなる厚さ9  $\mu$ m ~100  $\mu$ m のメッキ層である（請求項4の発明）。このメッキ層は、最も一般的なメッキであって低コストであり、ニッケル層が銅層の酸化防止膜を兼ねている。9  $\mu$ m の厚さがあれば、外側電極から放射される $\alpha$ 線を問題としないレベルまで遮蔽することができ、100  $\mu$ m 以内であれば、50 keV まで±15%以内のエネルギー特性を得ることができる。

#### 【0036】

【発明の実施の形態】この発明による検出器の特徴は、

- 1) 外側電極及びカバーが密度の小さいアルミであること、
- 2) 封入気体が窒素ガスを主成分として少量のアルゴンガス等の不活性ガスを含んでいること、
- 3) 外側電極の内面には、外側電極が含有している自然放射性核種から放射される $\alpha$ 線を遮蔽するための遮蔽層が形成されていることである。

【0037】以下に、この発明の実施の形態について実施例を用いて説明する。なお、従来技術と同じ機能の部分には同じ符号を用いる。図1はこの発明による検出器の実施例の構造を示す部分断面図であり、従来技術と異なる部分だけを示している。図2は、この発明の効果を示すための、実施例及び従来例の実測エネルギー特性線

図である。

【0038】この検出器1aの中心部には、従来技術と同じ球形でステンレス鋼製の集電極（図1には図示されていない）が、図示されていない電極保持部材に保持されており、信号電流を取り出すための図示されていないリード線を介してアンプに接続されている。この集電極の外側には、集電極の中心と同じ中心をもつ球形で耐食アルミ製の外側電極（図1では高圧電極）11a が、集電極とは電気的に絶縁されて配置され、図示されていない高圧電源に接続されている。この外側電極11a の更に外側には、集電極の中心と同じ中心をもつ球形で耐食アルミ製のカバー14aが配置されている。外側電極11a の内面には、外側電極11a が含有する自然放射性核種から放射される $\alpha$ 線を遮蔽するための遮蔽層111 として、厚さ5  $\mu$ m のCuメッキ層とその上に積層された厚さ5  $\mu$ m のNiメッキ層とが電解メッキによって形成されている。Niメッキ層は、遮蔽層としての機能に加えて、Cuメッキ層の酸化防止層の機能を兼ねている。

【0039】ここで、図1における高圧電極11a を外側電極11a と言ったのは、外側電極が常に高圧電極になるとは限らないからである。外側電極11a とその下部の保持部材等とによって密閉容器が形成されており、この密閉容器内には、窒素ガスを主成分として4モル%のアルゴンガスを含む封入気体13a が封入されている。封入気体13a の封入圧は0.91 MPaである。この封入気体13a 中に $\gamma$ 線が入射すると、この $\gamma$ 線と封入気体13a とが相互作用して封入気体13a が電離され、外側電極11a と集電極との間に印加されている電界によって、イオンと電子とに分離され、その結果として集電極に電流信号が流れ、入射 $\gamma$ 線が検出される。

【0040】図2に実線で示したのが、この実施例のエネルギー特性であり、点線で示したのが比較のための従来例のエネルギー特性である。横軸は $\gamma$ 線のエネルギーであり、縦軸は<sup>137</sup>Csの662 keVの $\gamma$ 線に対する感度を基準とする相対感度である。従来例で見られた125 keVでの高いピークが低くなり、且つ低エネルギー側に移動して、3 MeVから50 keVまでのエネルギー領域において±15%以内のエネルギー特性を得ることができている。なお、この実施例のバックグラウンド値は従来例に比べて、6.2 nGy/hの増加に止まっている（表2参照のこと）。

【0041】このような優れた特性が得られたのは、

- 1) 外側電極及びカバーの材料を、ステンレス鋼から密度の小さい耐食アルミに変えたことにより、低エネルギーの $\gamma$ 線の透過率が上がったこと、
- 2) 封入気体を、アルゴンガスから、窒素ガスを主成分として少量のアルゴンガスを含む混合ガスに変えたことにより、100 keV近傍に現れる高いピークを+15%以内に制御できたこと、
- 3) 自然放射性核種から放射される $\alpha$ 線を遮蔽するため

の遮蔽層を形成することにより、耐食アルミに変えたことにより増加した自己汚染線量によるバックグラウンド値の増加を約1/3に低減させたこと（表1及び表2参照のこと）による。

【0042】遮蔽層111の材料としては、上記の銅及びニッケルの他に、金、銀、錫、鉛、クロム等も有効であり、遮蔽層111の形成方法としては、メッキによるのではなく箔や板を張り付けてもよい。なお、この発明に関しては、実測データとシミュレーション計算とが非常に良く一致することが確認されており、且つ、「課題を解決するための手段」の項で詳しく説明したシミュレーション計算によれば、表3に“○”で示した条件の場合には、3 MeVから50 keVまでのエネルギー領域において±15%以内のエネルギー特性を得ることができるという結果が得られている。したがって、この発明によれば、このような厳しいエネルギー特性への要求を十分に満たすことができるということが出来る。更に、表3の構成条件とは異なる条件、すなわち、アルミの合計厚さの異なる場合や、遮蔽層の材質がCu以外の場合においても、表3と同様のシミュレーション計算が可能であり、「課題を解決するための手段」の項で説明したように、アルミの厚さをアルゴンガスの濃度に読み変えたり、遮蔽層を単位面積当たりの質量に置き換えて一般化することも有効である。

#### 【0043】

【発明の効果】この発明によれば、中心部にある中央電極と、中央電極の外側を囲む外側電極と、外側電極の外側を覆うカバーとが、それらの下部において相互に電気的に絶縁されて保持部材に保持され、外側電極と保持部材とで密閉容器が形成され、その密閉容器内には加圧されたガスが封入されている電離箱検出器において、外側電極及びカバーがアルミからなり、外側電極の内面に、外側電極に含まれる天然放射性核種から放射される $\alpha$ 線を遮蔽する遮蔽層が形成されており、加圧封入ガスが、窒素ガスより分子量の大きい不活性ガスを含む窒素ガスである。

【0044】窒素ガスを主成分とすることによって、100 keV前後における感度の大幅な増大がなくなり、窒素ガスより分子量の大きい不活性ガスを混合することによって低エネルギー側での感度が確保され、更に、外側電極及びカバーの材質をアルミに変えることによって80 keV以下のエネルギー領域においても必要な感度が確保される。更に、外側電極の内面に $\alpha$ 線の遮蔽層を形成することによって、自己汚染によるバックグラウンド値の増大を抑制することができる。したがって、厳しい特性仕様を満たす優れたエネルギー特性をもち、且つ自己汚染によるバックグラウンド値が低い電離箱検出器を提供することができる（請求項1の発明）。

【0045】請求項1の発明において、外側電極の厚さ及びカバーの厚さの合計厚さが2 mm～10 mmであり、不

活性ガスがアルゴンガスであり、且つその濃度が2.5 モル%～6.5 モル%である。外側電極は、その内部に封入されるガスの内圧に耐えるために最少でも1.5 mm程度の厚さが必要であり、カバーも機械的強度の点から最少でも0.5 mm程度の厚さが必要である。一方、アルミの合計厚さが10 mmを越えると、機械的な強度を確保するという観点から不必要に分厚いものとなり、電離箱検出器の形状が大きくなり、コストも増大する。また、アルゴンガスのモル濃度が0%であっても、80 keVまで±15%以内のエネルギー特性を満足させることはできるが、アルミの合計厚さと遮蔽層の材質及び厚さに対応させてアルゴンガスの濃度を2.5 モル%～6.5 モル%に調整することによって、50 keVまで±15%以内のエネルギー特性を満足させることができるようになる。アルミの合計厚さの3 mmとアルゴンガスの濃度の1 モル%とがほぼ対応し、アルミの合計厚さが増加する場合には、アルゴンガスのモル濃度も増加させればよい。したがって、コストを殆ど増加させることなく、厳しい特性仕様を満たす優れたエネルギー特性をもち、且つ自己汚染によるバックグラウンド値が低い電離箱検出器を提供することができる（請求項2の発明）。

【0046】請求項1の発明または請求項2の発明において、前記遮蔽層が外側電極上に積層された金属層であり、その金属層の密度を $\rho$  g/cm<sup>3</sup> とし、その厚さを $t$   $\mu$ mとした場合に、 $\rho \geq 5.5$  で、 $80 \leq \rho t \leq 900$  である。表3に示したシミュレーション計算結果によれば、50 keVまで±15%以内のエネルギー特性をもっているのは、Cu層の厚さが0  $\mu$ m～80  $\mu$ mの範囲であり、100  $\mu$ mは僅かに外れている。遮蔽層がエネルギー特性に影響するのは、遮蔽層の単位面積当たりの質量であるので、表3の結果を単位面積当たりの質量に置き換え、遮蔽層としての機能を確保する最低厚さを配慮し、境界部分を取り込むと、50 keVまで±15%以内のエネルギー特性を満足するのは、 $80 \leq \rho t \leq 900$  となる。なお、 $\rho \geq 5.5$  としているのは、アルミの2倍以上の密度をもつ金属を遮蔽層の材料として選択することによって、遮蔽層中の $\alpha$ 線の飛程がアルミの1/2以下となり、その結果として、遮蔽層自体の自己汚染線量が少なく抑えられることを意図している。したがって、外側電極及びカバーの厚さと、アルゴンガス濃度と、遮蔽層の材質及び厚さとを調整することによって、厳しい特性仕様を確実に満たし、且つ自己汚染によるバックグラウンド値を低く保つことができる（請求項3の発明）。

【0047】請求項3の発明において、前記遮蔽層が銅層とニッケル層とからなる厚さ9  $\mu$ m～100  $\mu$ mのメッキ層である。このメッキ層は、最も一般的なメッキであって低コストであり、ニッケル層が銅層の酸化防止膜を兼ねている。9  $\mu$ mの厚さがあれば、外側電極から放射される $\alpha$ 線を問題とならないレベルまで遮蔽することができ、100  $\mu$ m以内であれば、50 keVまで±15%以内の

エネルギー特性を得ることができる。したがって、この積層メッキ層が最も実用的な遮蔽層を提供する（請求項4の発明）。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明による検出器の実施例の構造を示す部分断面図

【図2】発明の効果を示すための、実施例及び従来例の実測エネルギー特性線図

【図3】従来技術による検出器の一例の構造を示す部分断面正面図

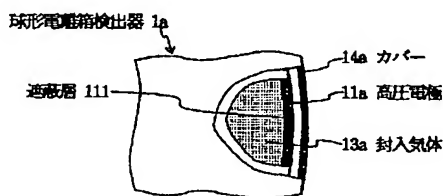
【図4】従来の検出器の実測エネルギー特性線図

【図5】検討過程における実測エネルギー特性線図

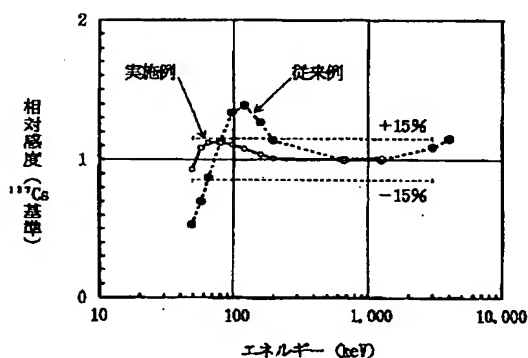
【図6】検討過程における実測エネルギー特性線図

【図7】検討過程の効果を示す実測エネルギー特性線図

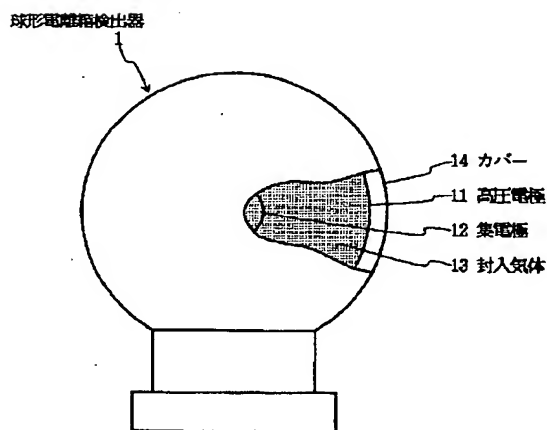
【図1】



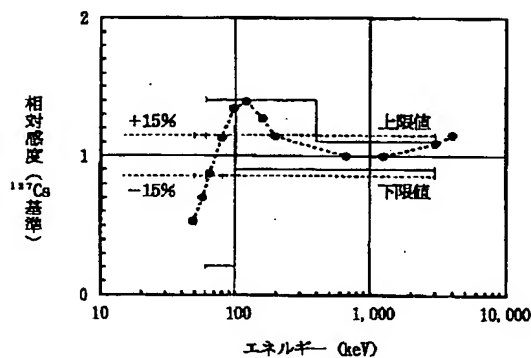
【図2】



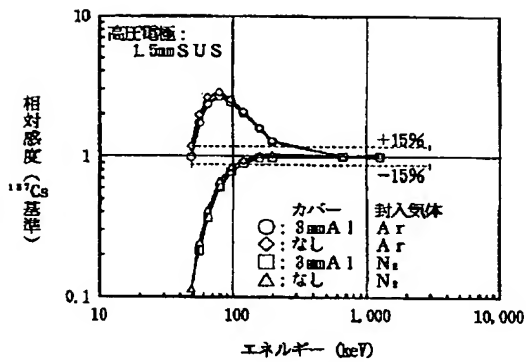
【図3】



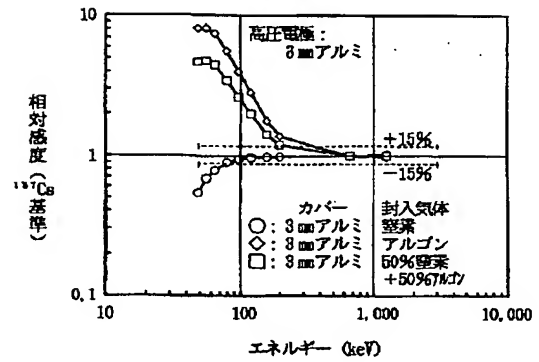
【図4】



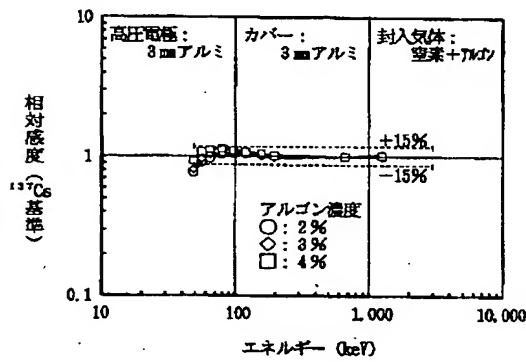
【図5】



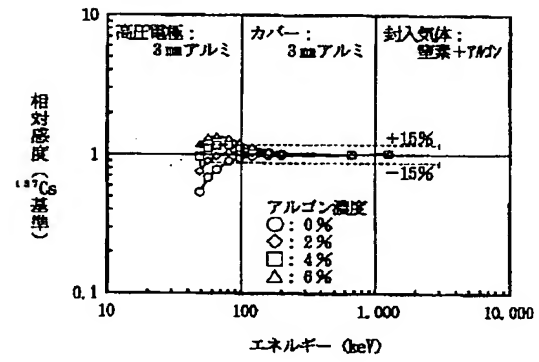
【図6】



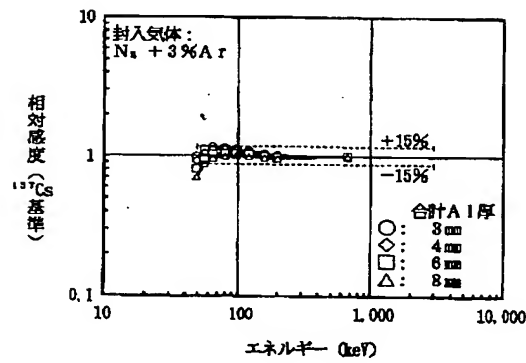
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

